

⑯ BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENTAMT

⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 3703028 A1

⑯ Int. Cl. 4:

H01J 37/28

H 01 J 37/12

H 01 J 37/244

H 01 J 37/153

H 01 J 37/147

// H01L 21/66

⑯ Anmelder:

Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München, DE

⑯ Aktenzeichen: P 37 03 028.0

⑯ Anmeldetag: 2. 2. 87

⑯ Offenlegungstag: 1. 9. 88

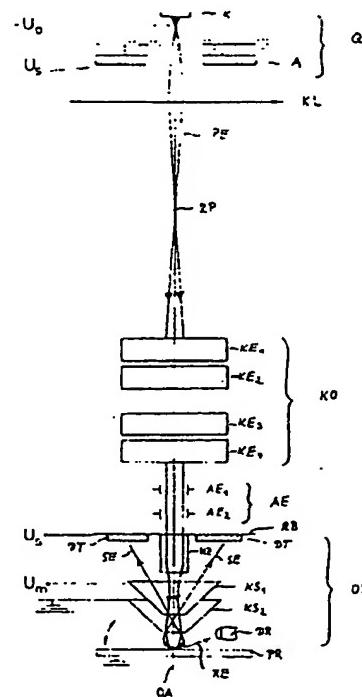
⑯ Erfinder:

Rose, Harald, Prof. Dr.; Zach, Joachim, Dipl.-Phys.,  
6100 Darmstadt, DE

DE 3703028 A1

⑯ Rastermikroskop

In allen Bereichen der Entwicklung und Fertigung mikro- und optoelektronischer Bauelemente besteht ein steigender Bedarf an hochauflösenden abbildenden Systemen, die eine prozeßnahe Inspektion der mit Hilfe moderner Lithografieverfahren erzeugten Submikrometerstrukturen ermöglichen. Konventionelle Rasterelektronenmikroskope erreichen eine Auflösung von wenigen Nanometern nur bei hohen Beschleunigungsspannungen oberhalb etwa 20 kV, wo Resiststrukturen und Schaltungen geschädigt und nicht- oder schlechtleitende Proben aufgeladen werden. Das erfundungsgemäße Niederspannungs-Rasterelektronenmikroskop (Elektronenendenergie  $E_{PE} \approx 0,2$  bis 5 keV) besteht im wesentlichen aus einer Feldemissionsquelle (Q), einer Kondensorlinse (KL), einem Linsensystem (KO) mit mindestens vier 8- oder 12-Polelementen ( $KE_1$  bis  $KE_4$ ) zur Korrektur der sphärischen und chromatischen Aberrationen des abbildenden Linsensystems (OL), einem im Strahlengang unmittelbar hinter dem Korrektor (KO) angeordneten zweistufigen Ablenkelement (AE) und einer Immersionslinse (OL) mit Mittelelektrode ( $KS_1$ ) als Objektivlinse. Der Detektor (DT) zum Nachweis der Sekundärelektronen (SE) ist innerhalb der Immersionslinse (OL) angeordnet, deren mittlere und probenseitige Elektrode ( $KS_1$  bzw.  $KS_2$ ) jeweils kegelstumpfförmig ausgebildet sind. Die probenseitige Elektrode der Immersionslinse (OL) besteht aus einer ringförmigen Blende (RB), in deren Zentralbohrung ein Hohlzylinder (HZ) angeordnet ist. ...



DE 3703028 A1

## Patentansprüche

1. Rastermikroskop mit einem Strahlerzeuger (*Q*), einem ersten Linsensystem (*KL*) zur Bündelung eines primären Teilchenstrahls (*PE*), einem zweiten Linsensystem (*OL*) zur Fokussierung des Teilchenstrahls (*PE*) auf eine Probe (*PR*), einem Ablenkelement (*AE*) zur Positionierung des Teilchenstrahls (*PE*) auf der Probe (*PR*) und einem Detektorsystem (*DT*) zum Nachweis der auf der Probe (*PR*) ausgelösten sekundären oder rückgestreuten Teilchen (*SE, RE*), dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Linsensystem eine Immersionslinse (*OL*) mit Mittelelektrode (*KE<sub>1</sub>*) als Objektivlinse aufweist und daß das Detektorsystem (*DT*) innerhalb der Immersionslinse (*OL*) angeordnet ist.
2. Rastermikroskop nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die quellenseitige Elektrode (*RB, HZ*) der Immersionslinse (*OL*) auf einem ersten positiven Potential (*U<sub>s</sub>*) liegt und daß die Mittelelektrode (*KS<sub>1</sub>*) der Immersionslinse (*OL*) mit einem höheren zweiten positiven Potential (*U<sub>m</sub>*) beaufschlagt ist.
3. Rastermikroskop nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die quellenseitige Elektrode (*HZ, RB*) der Immersionslinse (*OL*) auf dem Potential (*U<sub>s</sub>*) einer teilchenbeschleunigenden Elektrode (*A*) des Rastermikroskops liegt.
4. Rastermikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die probenseitige Elektrode (*KS<sub>2</sub>*) der Immersionslinse (*OL*) und die Probe (*PR*) auf dem gleichen Potential liegen.
5. Rastermikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittelelektrode (*KS<sub>1</sub>*) und die probenseitige Elektrode (*KS<sub>2</sub>*) der Immersionslinse jeweils kegelstumpfförmig ausgebildet sind.
6. Rastermikroskop nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Mantelfläche der Mittelelektrode (*KS<sub>1</sub>*) und der probenseitigen Elektrode (*KS<sub>2</sub>*) der Immersionslinse (*OL*) jeweils einen Winkel zwischen 30 und 70 Grad mit der Strahlachse (*OA*) des Rastermikroskops einschließt.
7. Rastermikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die quellenseitige Elektrode (*RB, HZ*) der Immersionslinse (*OL*), einen konzentrisch zur Strahlachse (*OA*) angeordneten ringförmigen Teil (*RB*) und einen in dessen Bohrung angeordneten, sich in Richtung der Probe (*PR*) erstreckenden Hohlzylinder (*HZ*) aufweist.
8. Rastermikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Detektorsystem (*DT*) ringförmig ausgebildet und zwischen der quellenseitigen Elektrode (*HZ, RB*) und der Mittellektrode (*KS<sub>1</sub>*) der Immersionslinse (*OL*) konzentrisch zur Strahlachse (*OA*) angeordnet ist.
9. Rastermikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß dem zweiten Linsensystem (*OL*) ein im Strahlengang oberhalb der Immersionslinse (*OL*) angeordnetes, aus mindestens vier Acht- oder Zwölfpolelementen (*KE<sub>1</sub>* bis *KE<sub>4</sub>*) bestehendes weiteres Linsensystem (*KO*) zur Korrektur der Farb- und Öffnungsfehler des zweiten Linsensystems vorgelagert ist.
10. Rastermikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das weitere Linsensystem (*KO*) aus fünf Acht- oder Zwölfpolelementen besteht.

- 5 11. Rastermikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Ablenkelement (*AE*) im Strahlengang zwischen dem weiteren Linsensystem (*KO*) und dem zweiten Linsensystem (*OL*) angeordnet ist.
- 10 12. Rastermikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Ablenkelement (*AE*) in die quellenseitige Elektrode (*RB, HZ*) der Immersionslinse (*OL*) integriert ist.
- 15 13. Rastermikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 12, gekennzeichnet durch ein zweistufiges Ablenkelement (*AE<sub>1</sub>, AE<sub>2</sub>*).
- 20 14. Rastermikroskop nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Hohlzylinder (*HZ*) der quellenseitigen Elektrode isoliert angeordnet und in einer Ebene senkrecht zur Strahlachse (*OA*) unterteilt ist und daß der obere und untere Teil des Hohlzylinders (*HZ<sub>1</sub>, HZ<sub>2</sub>*) jeweils aus vier oder acht Segmenten (*S<sub>1</sub>* bis *S<sub>4</sub>*) besteht.
- 25 15. Rastermikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Linsensystem mindestens eine magnetische Linse (*KL*) aufweist.

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Rastermikroskop nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Die elektrischen Eigenschaften moderner integrierter mikro- und optoelektronischer Bauelemente wird wesentlich von den geometrischen Abmessungen ihrer Teilsysteme beeinflußt. Die Einhaltung enger Maßtoleranzen ist deshalb insbesondere dann eine unverzichtbare Voraussetzung für die Herstellung funktionsfähiger Bauelemente mit gleichbleibenden physikalisch-elektrischen Eigenschaften, wenn sich die geometrischen Abmessungen der mit Hilfe moderner Lithographieverfahren erzeugten Strukturen im Mikrometer- und Submikrometerbereich bewegen.

In allen Bereichen der Entwicklung und Fertigung integrierter mikro- und optoelektronischer Bauelemente besteht deshalb ein steigender Bedarf an hochauflösenden abbildenden Systemen, die eine prozeßnahe Inspektion der erzeugten Strukturen und deren exakte Vermessung ermöglichen. Als für diese Zwecke besonders geeignet haben sich Rasterelektronenmikroskope herausgestellt, mit denen man Mikro- und Submikrometerstrukturen visuell beurteilen, Fehler und Abweichungen von Sollmustern feststellen und topographische Daten wie Längen, Breiten, Höhen oder Neigungswinkel erfassen und auswerten kann. Bei allen Untersuchungen der Bauelemente im Rasterelektronenmikroskop ist hierbei sicherzustellen, daß Veränderungen des Substrats, wie sie beispielsweise durch Kontaminationen oder Strahlenschäden auftreten können, vermieden werden.

Konventionelle Rasterelektronenmikroskope erreichen eine Auflösung von wenigen Nanometern nur bei hohen Beschleunigungsspannungen oberhalb etwa 20 kV, wo Resiststrukturen und Schaltungen durch die hochenergetischen Elektronen geschädigt und nicht- oder schlechtleitende Oberflächenbereiche der untersuchten Proben aufgeladen werden. Die in der Rasterelektronenmikroskopie übliche Metallisierung der Probe zur Unterdrückung der die Auflösung und die Abbildungsgüte beeinträchtigenden Aufladungen ist für die Untersuchung mikro- und optoelektronischer Bauelemente nicht geeignet, da deren Funktion durch eine auf-

gebrachte Metallschicht gestört oder in unzulässiger Weise verändert würde.

Der Erfahrung liegt die Aufgabe zugrunde ein Rastermikroskop, insbesondere ein Rasterelektronenmikroskop der eingangs genannten Art anzugeben, mit dem hochauflösende Untersuchungen bei niedrigen Strahlenergien durchführbar sind. Diese Aufgabe wird erfundungsgemäß durch ein Rastermikroskop nach Patentanspruch 1 gelöst.

Der mit der Erfahrung erzielbare Vorteil besteht insbesondere darin, daß Teilchensonden mit kleinem Querschnitt auch bei niedrigen Primärenergien erzeugt werden können. Außerdem sind hochauflösende und nahezu aufladungsfreie Untersuchungen nicht- oder schlechtleitender Proben gewährleistet.

Die Ansprüche 2 bis 15 sind auf bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfahrung gerichtet, die nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert wird.

Hierbei zeigt

Fig. 1 den schematischen Aufbau eines erfundungsgemäß Rasterelektronenmikroskopes,

Fig. 2 ein Achtpolelement des Linsensystems zur Korrektur der sphärischen und chromatischen Aberrationen der Objektivlinse des Rasterelektronenmikroskops nach Fig. 1,

Fig. 3a und 3b die Objektivlinse des Rasterelektronenmikroskops mit integriertem Ablenkelement.

Das in Fig. 1 schematisch dargestellte Rasterelektronenmikroskop besteht im wesentlichen aus einem Elektronenstrahlerzeuger, vorzugsweise einer Feldemissionsquelle  $Q$ , einer Kondensorlinse  $KL$  zur Fokussierung der von der Kathode  $K$  emittierten und in Richtung der Anode  $A$  beschleunigten Primärelektronen  $PE$  in ein auf der Strahlachse  $OA$  liegendes Zwischenbild  $ZP$  der Elektronenquelle, einem Linsensystem (Korrektor) mit mindestens vier Acht- oder Zwölfpolelementen  $KE_1$  bis  $KE_4$  zur Korrektur der sphärischen und chromatischen Aberrationen der abbildenden Linse, einem im Strahlengang unmittelbar hinter dem Korrektor  $KO$  angeordneten zweistufigen Ablenkelement  $AE$  mit jeweils zwei über nicht dargestellte Signalgeneratoren angesteuerten zylinder- oder plattenförmigen Strukturen  $AE_1$  und  $AE_2$  und einer elektrostatischen Objektivlinse  $OL$  zur verkleinerten Abbildung des Zwischenbildes  $ZP$  der Quelle auf die unmittelbar unterhalb der Objektivlinse  $OL$  auf einer Halterung angeordneten Probe  $PR$ . Als Objektivlinse  $OL$  ist eine Immersionslinse mit Mittelelektrode  $KS_1$  vorgesehen, deren auf dem Anodenpotential  $U_s$  liegende quellenseitige Elektrode eine ringförmige Blende  $RB$  mit einem konzentrisch zur Strahlachse  $OA$  angeordneten und sich in Richtung der Probe  $PR$  erstreckenden Hohlzylinder  $HZ$  aufweist. Erfundungsgemäß sind die als Steuerelektrode wirkende, mit einem variablen positiven Potential  $U_m$  ( $U_m > U_s$ ) beaufschlagte Mittelelektrode  $KS_1$  und die auf dem Potential der Probe  $PR$  liegende probenseitige Elektrode  $KS_2$  der Immersionslinse  $OL$  kegelstumpfförmig ausgebildet und konzentrisch zur Strahlachse  $OA$  angeordnet. Um die Probe  $PR$  auch in geneigtem Zustand untersuchen und abbilden zu können, schließen die Seitenflächen der sich in Richtung der Probe  $PR$  verjüngenden Elektroden  $KS_1$  bzw.  $KS_2$  vorzugsweise einen Winkel  $\alpha$  zwischen etwa 30 und 70 Grad mit der Strahlachse  $OA$  ein.

Der Detektor  $DT$  zum Nachweis der auf der Probe  $PR$  von den Primärelektronen  $PE$  ausgelösten Sekundärelektronen  $SE$  ist in dem gezeigten Ausführungsbeispiel innerhalb der Immersionslinse  $OL$  im Raumbe-

reich zwischen der quellenseitigen und der mittleren Elektrode  $RB/HZ$  bzw.  $KS_1$  konzentrisch zur Strahlachse  $OA$  angeordnet. Er besteht vorzugsweise aus einem ringförmigen elektronensensitiven Teil, der in der Zentralbohrung des Hohlzylinders  $HZ$  der quellenseitigen Elektrode der Immersionslinse  $OL$  isoliert gehalten ist. Zur Erzielung verschiedener Kontraste ist es zweckmäßig, den Detektor in mehrere Segmente zu unterteilen und die in den einzelnen Segmenten erzeugten Signale in der gewünschten Weise zu kombinieren (z. B. Differenzbildung der in zwei Halbringdetektoren erzeugten Signale oder Unterdrückung eines der Signale). Da der Hohlzylinder  $HZ$  auf einem etwas niedrigeren positiven Potential  $U_s$  als die Mittelelektrode  $KE_1$  der Immersionslinse  $OL$  liegt ( $U_m > U_s$ ), werden insbesondere die unter kleinen Winkeln zur Strahlachse  $OA$  laufenden Sekundärelektronen  $SE$  in Richtung des Detektors  $DT$  abgelenkt und nachgewiesen. Der Hohlzylinder  $HZ$  dient außerdem der Abschirmung des primären Elektronenstrahls von der am Detektor  $DT$  anliegenden Hochspannung von beispielsweise +10 kV zur Nachbeschleunigung der Sekundärelektronen  $SE$ . Als Detektoren  $DT$  kommen insbesondere die beispielsweise aus der Veröffentlichung von W. K. Hofkar, Philips Technische Rundschau Nr. 12, 1966, Seite 323 bis 337 bekannten Halbleiterdetektoren in Betracht, deren teilchensenitive Bereiche gegebenenfalls segmentiert aufgebaut und als Metall-Halbleiter- oder p-n-Übergang ausgebildet sind. Selbstverständlich kann man auch Szintillatoren-Lichtleiterkombinationen oder Channel-Plates als Sekundärelektronendetektoren verwenden. Ringförmige Detektoren besitzen gegenüber anderen Detektorkonfigurationen allerdings den Vorteil, daß man nahezu alle der im rotationssymmetrischen elektrischen Feld der Immersionslinse  $OL$  von der Probe  $PR$  abgesaugten Sekundärelektronen  $SE$  erfassen und nachweisen kann.

Das als Korrektor bezeichnete und aus mindestens 4 Acht- oder Zwölfpolelementen  $KE_1$  bis  $KE_4$  bestehende Linsensystem  $KO$  ist aus den Veröffentlichungen von H. Rose "Elektronenoptische Aplanate", Optik 34, Heft 3, 1971 Seite 285 bis 311 (siehe insbesondere Seite 308 Fig. 9) und H. Koops "Aberration Correction in Electron Microscopy" 9th International Congress on Electron Microscopy, Toronto 1978, Vol 3, Seite 185 bis 196 (siehe insbesondere Seite 191, Fig. 4) bekannt. Dieses im Strahlengang unmittelbar oberhalb des zweistufigen Ablenkelementes  $AE$  angeordnete Linsensystem  $KO$  dient der Korrektur der Öffnungs- und Farbfehler der Immersionslinse  $OL$ . Eines der Achtpolelemente  $KE_i$  ( $i=1 \dots 4$ ) des Korrektors  $KO$  ist schematisch in Fig. 2 dargestellt. Es besteht aus acht auf dem Anodenpotential  $U_s$  liegenden inneren Polschuhen  $PI$ , die durch einen zylinderförmigen Isolator  $IS$  von den auf Erdpotential liegenden und mit jeweils einer Erregerspule  $SP$  umgebenen äußeren Polschuhen  $PA$  getrennt sind. Mit jedem dieser Elemente  $KE_i$  werden magnetische Quadrupol- und Oktupolfelder zur Korrektur der Öffnungsfehler der Objektivlinse  $OL$  erzeugt. Zur Korrektur ihres Farbfehlers werden elektrische Quadrupolfelder verwendet, die man mit Hilfe eines an den Innenelektroden  $PI$  anliegenden Zusatzpotentials in den mittleren Elementen  $KE_2$  und  $KE_3$  des Korrektors  $KO$  aufbaut.

Auf das quellenseitige Ablenkelement  $AE_1$  kann verzichtet werden, wenn man innerhalb des probenseitigen Korrektorelementes  $KE_4$  zusätzlich noch elektrische Dipolfelder zur Vorablenkung des Primärelektronenstrahles  $PE$  erzeugt.

Vier Acht- oder Zwölfpolelemente  $KE_1$  bis  $KE_4$  rei-

chen zur Korrektur der Öffnungs- und Farbfehler der Immersionslinse  $OL$  aus. Die Verwendung von fünf Elementen bietet allerdings zusätzlich die Möglichkeit, auch außeraxiale Fehler der Objektivlinse zu korrigieren. Diese Abbildungsfehler sind in einem erfundungsgemäßen Rasterelektronenmikroskop mit einem zweistufigen Ablenklement  $AE$  allerdings vernachlässigbar klein, so daß man auf ein fünftes Korrektorelement i. A. verzichten kann. Da die Öffnungsfehler dritter Ordnung mit den Achtpolelementen  $KE_1$  bis  $KE_4$  korrigierbar sind, begrenzen die mit dem Abstand zwischen dem Korrektor  $KO$  und der Objektivlinse  $OL$  anwachsenden Öffnungsfehler fünfter Ordnung die Auflösung. Deren Einfluß kann man durch Verwendung zwölfpoliger Elemente im Korrektor  $KO$  erheblich reduzieren, ohne die Korrekturen niedrigerer Ordnung zu beeinträchtigen.

Zur weiteren Reduktion des mit dem Abstand zwischen dem Korrektor  $KO$  und der Immersionslinse  $OL$  anwachsenden Öffnungsfehler fünfter Ordnung wird das zweistufige Ablenklement  $AE$ , wie in den Fig. 3a und 3b schematisch dargestellt, erfundungsgemäß in die quellenseitige Elektrode der Immersionslinse  $OL$  integriert, indem man den Hohlzylinder  $HZ$  isoliert von der ringförmigen Blende  $RB$  anordnet, ihn in einer Ebene senkrecht zur Strahlachse  $OA$  teilt und den oberen und unteren Zylinderteil  $HZ_1$  bzw.  $HZ_2$  jeweils wieder in vier oder acht Sektoren  $S1$  bis  $S4$  untergliedert (siehe Fig. 3b). Diese auf dem Anodenpotential  $U_s$  liegenden Segmente  $S1$  bis  $S4$  werden zur Positionierung des Primärelektronenstrahles  $PE$  auf der Probe  $PR$  bzw. zu dessen zeilenförmiger Ablenkung mit geeigneten Zusatzpotentialen  $U_x$  bzw.  $U_y$  (Ablenkung in  $x$ - bzw.  $y$ -Richtung) beaufschlagt. Ein weiterer Vorteil der Integration des Ablenklements in die Immersionslinse  $OL$  besteht darin, daß größere Ablenkinkel eingestellt (kleinerer Abstand Ablenklement – Linsenfeld) und damit größere Oberflächenbereiche der Probe  $PR$  abgetastet werden können. Da der Primärelektronenstrahl  $PE$  in zweistufigen Ablenklementen auch bei großen Ablenkwinkeln um den sogenannten komafreien Punkt der Objektivlinse  $OL$  gekippt wird, werden die bei einstufigen Ablenklementen auftretenden außeraxialen Aberrationen (außeraxialer Linsendurchtritt des Strahls) vermieden.

Es ist bekannt, daß sich der Ladungszustand eines von einem Elektronenstrahl abgetasteten Oberflächenbereichs ändert, wenn die den Ladeprozess bestimmende Größe  $s$  ( $s$ =Ausbeute emittierter Elektronen = mittlere Zahl der pro auftreffenden Primärelektron ausgelöste Sekundär- und Rückstreuerelektronen) von eins abweicht. Aufladungsfreie Untersuchungen nicht- oder schlechtleitender Proben in einem Rasterelektronenmikroskop sind deshalb nur dann möglich, wenn die Energie  $E_{PE}$  der Primärelektronen mit der vom Probenmaterial abhängigen Neutralpunktenergie  $E_{NP}$  übereinstimmt ( $E_{PE} \approx E_{NP} \Rightarrow s(E_{PE}) \approx 1$ ).

Da die Neutralpunktenergie  $E_{NP}$  mit wenigen Ausnahmen im Energiebereich zwischen etwa 0,5 und 4 keV liegt, müssen konventionelle Rasterelektronenmikroskope mit niedrigen Beschleunigungsspannungen betrieben werden. Unter solchen Betriebsbedingungen wird allerdings der kleinste auf der Probe erreichbare Sondendurchmesser im wesentlichen durch den Fokussierung entgegenwirkenden Boersch-Effekt und den axialen Farbfehler der abbildenden Linse begrenzt. So wächst infolge der auf dem gesamten Strahlengang zwischen Quelle und Probe wirkenden Coulomb-Abstoßung zwischen den Elektronen deren räumlicher Ab-

stand und damit der Sondendurchmesser (lateraler Boersch-Effekt). Außerdem führt die Wechselwirkung zwischen den Elektronen in Bereichen hoher Stromdichten, also insbesondere im Elektronenstrahlerzeuger  $Q$  und den Strahlüberkreuzungspunkten (z. B.  $ZP$  in Fig. 1) zu einer Verbreiterung der Energieverteilung der Primärelektronen  $PE$ , was indirekt über den Farbfehler der Objektivlinse ebenfalls zu einer Vergrößerung des Sondendurchmessers führt. Für den die Auflösung bestimmten Sondendurchmesser  $d$  auf der Probe gilt hierbei die bekannte Beziehung

$$d = (d_0^2 + d_F^2)^{1/2}$$

wobei  $d_0$  den um die Coulomb-Abstoßung der Elektronen zwischen Strahlerzeuger und Probe (Einfluß des lateralen Boersch-Effektes) erweiterten geometrisch-optischen Sondendurchmesser und  $d_F$  den Durchmesser des durch den Farbfehler der abbildenden Linse erzeugten Farbfehlerscheibchens bezeichnet. Die Größe  $d_F$  wiederum ist über die Beziehung

$$d_F = 2 C_F \cdot \alpha \cdot \Delta U/U$$

definiert, wobei  $C_F$  die Farbfehlerkonstante der abbildenden Linse,  $\alpha$  die Strahlapertur,  $eU$  die Primärenergie ( $U$ =Beschleunigungsspannung,  $e$ =Elementarladung) und  $e\Delta U$  die Breite der Energieverteilung der Elektronen bezeichnet. Eine weitere Verbesserung der Auflösung des Rasterelektronenmikroskops nach Fig. 1 kann daher insbesondere durch eine Reduktion des lateralen und energetischen Boersch-Effektes im Strahlerzeuger und in der elektronenoptischen Säule erreicht werden. Da der Einfluß des lateralen Boersch-Effektes mit wachsender kinetischer Energie  $eU$  abnimmt (Verkürzung der Laufzeit der Elektronen zwischen Quelle und Probe), die Breite der Energieverteilung  $e\Delta U$  der Primärelektronen infolge des energetischen Boersch-Effektes aber deutlich zunimmt, sollten die Elektronen den ersten Strahlüberkreuzungspunkt (Quellen-cross over) mit niedriger Energie durchlaufen (kleine relative Energiebreite  $e \cdot \Delta U/eU$ ), um sie anschließend auf hohe Energien zu beschleunigen und erst kurz vor dem Erreichen der Probe auf die gewünschte niedrige Endenergie abzubremsen. Um den nachteiligen Einfluß des Boersch-Effektes auf den Sondendurchmesser in einem erfundungsgemäßen Rasterelektronenmikroskop nach Fig. 1 für Elektronenenergien von 0,2–5 keV zu minimieren, können die Elektroden des Strahlerzeugers  $K_A$  und der Objektivlinse  $OL$  beispielsweise mit folgenden Potentialen beaufschlagt werden:

Elektronenstrahlerzeuger  $Q$   
Kathode  $K$   $U_0 = -0,2$  bis  $-5$  kV  
Anode  $A$   $U_s = +10$  bis  $+30$  kV

Immersionslinse	$U_{HZ} = U_{RB} = U_s$
quellenseitige Elektrode	
$HZ, RB$	
Mittelelektrode $KS_1$	$U_{KS_1} = 1,1 U_s$ bis $2,5 U_s$
probenseitige Elektrode $KS_2$	$U_{KS_2} = 0$ V

Probe  $PR$   $U_{PR} = 0$  V

Die Erfindung ist selbstverständlich nicht auf die in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele beschränkt. So kann das Rasterelektronenmikroskop mit weiteren, im Strahlengang oberhalb des Korrektors  $KO$

angeordneten Kondensorlinsen und einem Strahlauftastsystem für stroboskopische Potentialkontrastaufnahmen ausgestattet sein. Es ist auch keineswegs notwendig die Elektrode  $KS_2$  der Immersionslinse  $OL$  und die Probe  $PR$  auf das gleiche Potential zu legen. Die Primärelektronen können selbstverständlich auch erst außerhalb des Strahlerzeugers  $Q$  auf hohe kinetische Energien beschleunigt werden. In diesem Fall liegen der Korrektor  $KO$  und die quellenseitige Elektrode  $HZ, RB$  der Immersionslinse vorzugsweise auf dem Potential  $10$  der die Primärelektronen beschleunigenden Elektrodenanordnung.

Zum Nachweis der Rückstreu elektronen  $RE$  kann das Rasterelektronenmikroskop noch mit einem zweiten Detektor  $DR$  ausgestattet sein, den man, wie in Fig. 1  $15$  dargestellt, beispielsweise seitlich oberhalb der Probe  $PR$  anordnet. Dieser Detektor kann aber auch anstelle des Sekundärelektronendetektors  $DT$  innerhalb der Immersionslinse angeordnet werden.

Anstelle der Feldemissionsquelle  $Q$  kann man selbstverständlich auch andere strahlerzeugende Systeme verwenden. Als Primär- und Sekundärteilchen kommen beispielsweise auch Ionen und andere geladene Teilchen in Betracht.

Wird in einem erfindungsgemäßen Rastermikroskop  $25$  ein einstufiges Ablenkelement zur Positionierung des Primärstrahls verwendet, so sollte das die Aberrationen der Immersionslinse korrigierende Linsensystem ( $KO$ ) aus fünf Acht- oder Zwölfpolelementen bestehen (Korrektur der durch den außeraxialen Linsendurchtritt bedingten Aberrationen).

Anstelle der elektrischen Ablenkelemente können selbstverständlich auch ein- oder zweistufige magnetische Ablenkelemente verwendet werden.

35

40

45

50

55

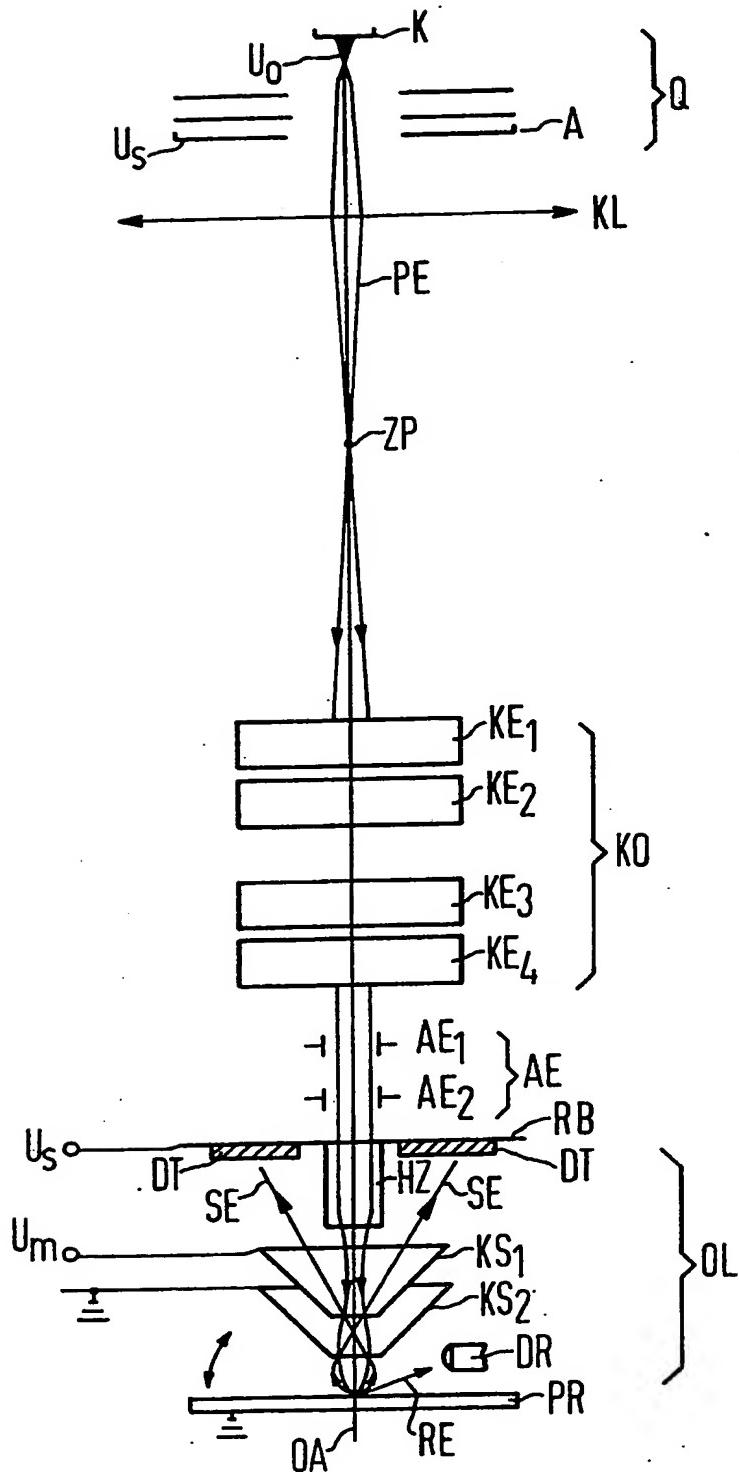
60

65

3703028

1/3

FIG 1



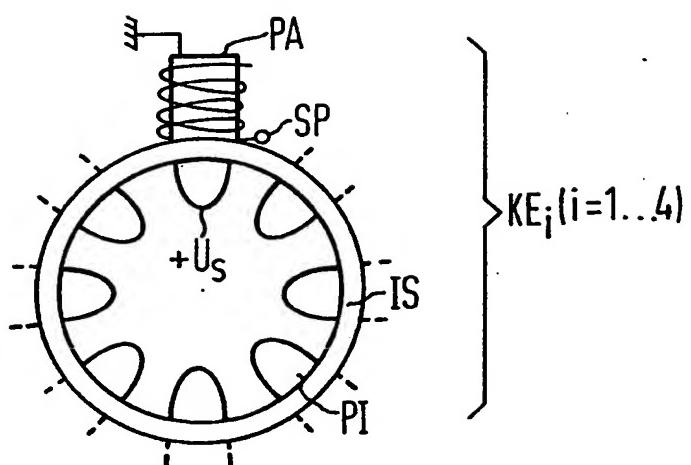
87 P 8006 DE

14

3703028

2/3

FIG 2



3703028

3/3

FIG 3a

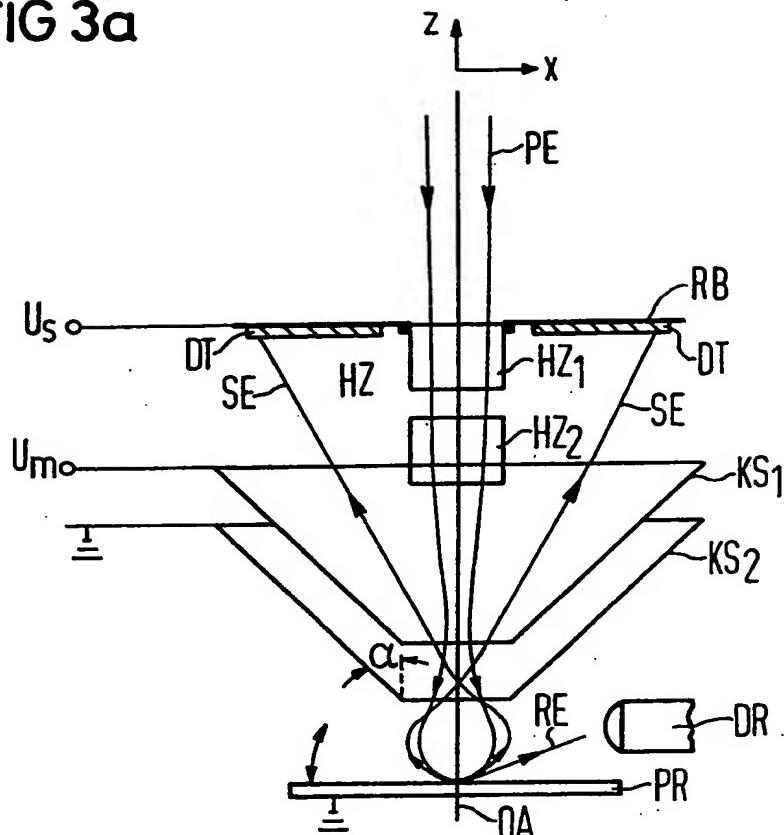


FIG 3b

